LE POINT EN RECHERCHE

Avril 2013

Série technique 13-100

Sélection du verre à faible émissivité pour les plus vieilles tours d'habitation au Canada

INTRODUCTION

Dans les plus vieux collectifs d'habitation, les résidents des appartements à forte exposition au soleil font souvent état d'un inconfort dû à l'apport par rayonnement solaire qui passe à travers les fenêtres. Ces immeubles d'appartements ne sont généralement pas dotés de dispositifs de contrôle du gain thermique (comme des pare-soleil, des volets ou autres) et les systèmes de chauffage ne sont pas toujours suffisamment souples pour s'adapter simultanément au gain thermique élevé (surchauffe) des appartements exposés au rayonnement solaire et à la perte thermique des appartements qui ne le sont pas. Les résidents ont tendance à ouvrir des fenêtres et des portes, ce qui entraîne un gaspillage de l'apport par rayonnement solaire et de l'énergie de chauffage. Comme le vitrage fait partie du problème, pourrait-il aussi faire partie de la solution?

Figure 1 Immeuble du centre-ville d'Ottawa (Ontario) visé par l'étude.

PROGRAMME DE RECHERCHE

Une étude a été menée dans trois appartements d'un immeuble occupé d'Ottawa, en Ontario (figures 1 et 2) appartenant à la Centretown Citizens Ottawa Corporation. L'étude a été subventionnée par la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) dans le cadre de son Programme de subventions de recherche (PSR) et par Ressources naturelles Canada (RNCan). Il faudra faire preuve de prudence en appliquant les résultats de cette étude à d'autres bâtiments de différents emplacements, typologies et dimensions. Il serait également sage de consulter un spécialiste pour comparer et optimiser la performance.

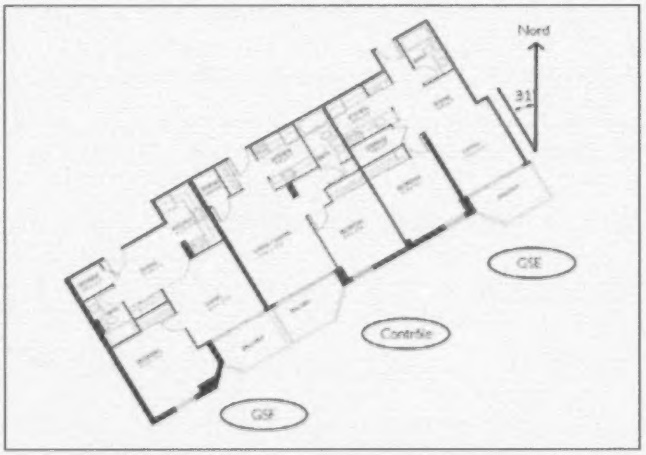

Figure 2 Appartements visés par l'étude orientés vers l'est et le sud, comme le bâtiment, à un angle de 31°.

Trois appartements d'une chambre orientés vers le sud-est ont été dotés d'équipement destiné à surveiller la température ambiante intérieure et l'humidité relative, ainsi

Canada

SCHL CMHC
AU CŒUR DE L'HABITATION

que le rayonnement solaire à l'extérieur du bâtiment et celui qui passe à travers le vitrage des fenêtres. Dans un premier appartement (appartement de contrôle), on a laissé tel quel le vitrage sans revêtement, dans un deuxième, on a installé du vitrage à faible émissivité avec revêtement à gains solaires élevés (GSE) et dans un troisième, du vitrage à faible émissivité avec revêtement à gains solaires faibles (GSF). De septembre 2010 à septembre 2011, on a effectué des visites mensuelles pour recueillir des données, examiner le fonctionnement du chauffage et du refroidissement et interroger les résidents des trois appartements sur leur perception du confort thermique. À la fin de la période de suivi, on a comparé les données et les observations recueillies dans les trois appartements pour déterminer si le vitrage à faible émissivité à GSE et celui à GSF avaient des incidences sur le confort thermique des résidents.

Vitrage

Le vitrage était le même dans les trois appartements. Les salles de séjour étaient dotées d'une porte-fenêtre coulissante comportant deux paires de châssis parallèles à vitrage simple et d'une fenêtre à la partie supérieure fixe à vitrage double isolant et à la partie inférieure faite de deux paires de châssis coulissants parallèles à vitrage simple. Les chambres comportaient chacune une fenêtre avec châssis-auvent au-dessus d'une fenêtre fixe, les deux étant dotées de vitrage double isolant. Les caractéristiques des vitrages de l'appartement de contrôle et des appartements avec vitrage à faible émissivité à GSE et à GSF ayant servi à la présente étude sont présentées dans le tableau 1.

Équipement et suivi

L'équipement destiné aux essais a été obtenu auprès de Structure Monitoring Technologies Research Ltd. (SMT) à Winnipeg, au Manitoba. On a installé dans chaque appartement un enregistreur de données en vue de mesurer la température ambiante intérieure et l'humidité relative (figure 3). On a mesuré le rayonnement solaire qui passe à travers les fenêtres des trois appartements à l'aide de pyranomètres installés derrière la partie vitrée fixe des fenêtres des chambres (figure 4). On a mesuré le rayonnement solaire extérieur à l'aide d'un pyranomètre identique installé à l'extérieur de l'appartement doté de vitrage à faible émissivité à GSE (figure 5). Les pyranomètres intérieurs et extérieurs ont été branchés à des enregistreurs de données à l'intérieur des appartements. Les données ont été téléchargées lors des visites mensuelles des appartements.

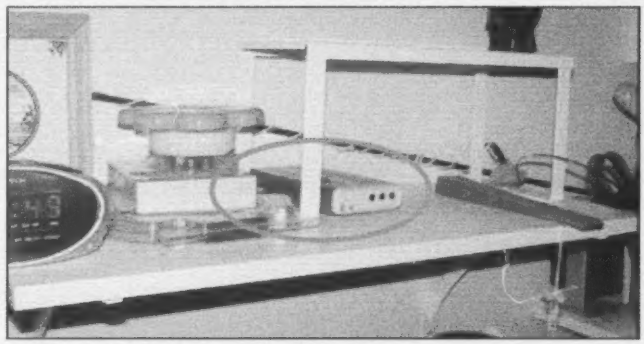

Figure 3 Enregistreur de données mesurant la température ambiante intérieure et l'humidité relative, installation typique (encerclé en rouge).

Tableau 1 Données sur le rendement du vitrage existant (appartement de contrôle) et du vitrage de remplacement

Appartement	Vitrage	Facteur U - W/m^2K ($BTU/h/pi^2/°F$)	Coefficient d'apport par rayonnement solaire
Contrôle	Fenêtres du séjour/salle à manger et de la chambre, vitrage double, verre isolant scellé	2,73 (0,49)	0,76
	Porte et fenêtre coulissantes du séjour/salle à manger, paires de châssis à vitrage simple	2,80 (0,49)	0,76
Faible émissivité avec revêtement à GSE	Fenêtres du séjour/salle à manger et de la chambre, vitrage double, verre isolant scellé	1,91 (0,33)	0,72
	Porte et fenêtre coulissantes du séjour/salle à manger, paires de châssis à vitrage simple	2,04 (0,33)	0,72
Faible émissivité avec revêtement à GSF	Fenêtres du séjour/salle à manger et de la chambre, vitrage double, verre isolant scellé	1,69 (0,30)	0,40
	Porte et fenêtre coulissantes du séjour/salle à manger, paires de châssis à vitrage simple	1,99 (0,33)	0,59

Évaluation

Température ambiante et humidité relative à l'intérieur des appartements

On a examiné les effets du vitrage à faible émissivité avec revêtements à GSE et GSF sur les conditions intérieures en comparant les mesures de la température ambiante et de l'humidité relative et les rapports des résidents sur le confort thermique. On l'a fait en quatre périodes relativement rapprochées des dates usuelles des changements de saison, commençant le 23 septembre 2010, puis se poursuivant les 10 décembre 2010, 10 mars 2011 et 9 juin 2011 pour terminer le 23 septembre 2011. Pour fournir un contexte objectif, on a comparé les températures ambiantes mesurées et les perceptions des résidents du confort et de l'inconfort avec les « zones de confort » établies dans la norme 55 de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE), *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* et avec les *Directives d'exposition concernant la qualité de l'air des résidences* de Santé Canada pour ce qui est de l'exposition à l'humidité relative intérieure, tel qu'illustré à la figure 6.

Le système de chauffage du bâtiment comprenait des radiateurs à eau chaude dans chaque pièce, munis de vannes thermostatiques permettant aux résidents de contrôler le débit

Figure 4 Pyranomètre installé derrière la portion vitrée fixe de la fenêtre de la chambre de l'appartement à GSE et orienté vers l'extérieur (encerclé en rouge).

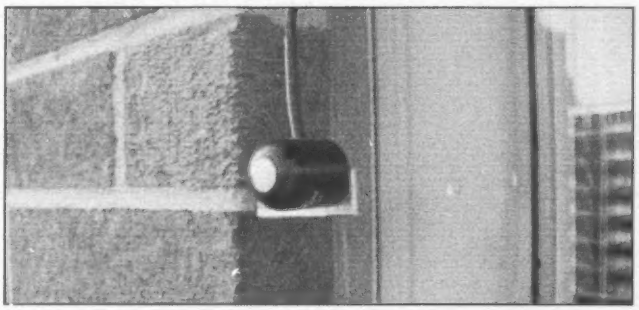

Figure 5 Pyranomètre installé à l'extérieur de la fenêtre de la chambre de l'appartement à GSE.

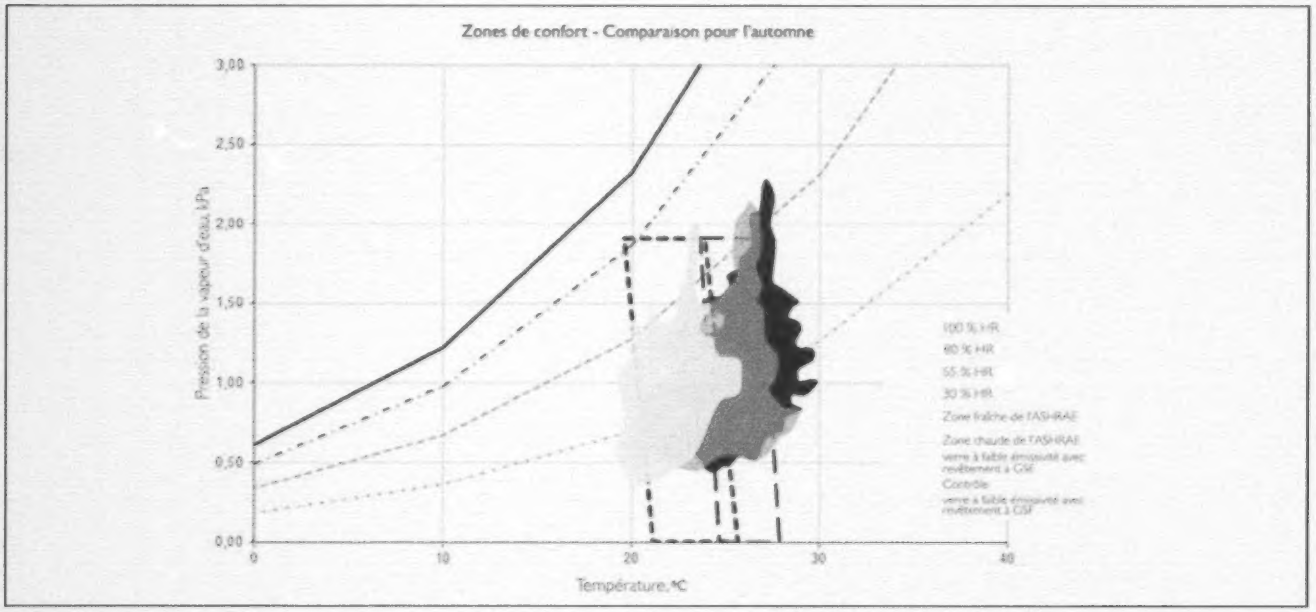

Figure 6 Exemple de la température ambiante et de l'humidité relative mesurées à l'intérieur des trois appartements pour la période de l'automne 2010.

de vapeur. Conformément à la législation provinciale et à la réglementation municipale, le système de chauffage a été mis en fonction au début de septembre. Les appartements étaient donc chauffés au début de la période de suivi de l'automne.

La figure 6 illustre les données enregistrées sur la température ambiante intérieure et l'humidité relative pour la période d'automne. Le résident de l'appartement doté de vitrage à GSF a déclaré que les conditions intérieures étaient confortables. Les thermostats des radiateurs ont été réglés au minimum jusqu'à l'arrivée du temps plus froid à la fin de l'automne. Le résident de l'appartement de contrôle a déclaré que la température ambiante intérieure avait souvent été trop élevée au début de l'automne, mais que les conditions avaient été plus confortables par la suite. Le résident de l'appartement doté de vitrage à GSE a quant à lui déclaré que la température ambiante intérieure était trop élevée au début de l'automne et trop basse à la fin de l'automne.

Lorsque la température intérieure était trop élevée, le résident de l'appartement de contrôle réglait les thermostats du radiateur au minimum et ouvrait les fenêtres ou la porte-fenêtre coulissante pour diminuer la température de l'air ambiant. Au même moment, le résident de l'appartement doté de vitrage à GSE ouvrait les fenêtres ou la porte-fenêtre coulissante, mais réglait les thermostats du radiateur au maximum. Ce résident a mentionné qu'il préférait une température intérieure plus élevée que la température usuelle. L'observation du fonctionnement des appartements et les impressions données par les résidents sur le confort thermique concordent avec la distribution des points de données sur la température ambiante intérieure et l'humidité relative dans les zones de confort de la norme 55 de l'ASHRAE, les points de données pour l'appartement doté de vitrage à GSF (gris) étant principalement dans la zone fraîche (ce qui est considéré comme approprié vu la tendance générale à la baisse de la température extérieure), les points de données pour l'appartement de contrôle (gris foncé) se prolongeant de la zone chaude jusqu'à la zone fraîche (ce qui concorde avec un changement allant de la chaleur inconfortable à des conditions confortables lorsque les températures extérieures ont diminué) et les points de données pour l'appartement doté de vitrage à GSE (noir) étant la plupart du temps dans la zone chaude (ce qui concorde avec une volonté de maintenir la température ambiante intérieure plus élevée que la température usuelle).

Pendant la période d'hiver, le résident de l'appartement de contrôle a fait état d'un confort thermique acceptable jusqu'au mois de mars où l'air ambiant est devenu vicié (chaud et humide). Les thermostats des radiateurs ont été réglés à un niveau plus élevé pendant la partie la plus froide de l'hiver et à un niveau plus bas à l'approche du printemps. Le résident de l'appartement doté de vitrage à GSE a continué de dire qu'il faisait trop froid et il a utilisé des sources de chaleur additionnelles (des radiateurs électriques autonomes) pour maintenir son confort. Les thermostats des radiateurs étaient réglés au maximum. Le résident de l'appartement doté de vitrage à GSF a continué de rapporter des conditions confortables, plus que celles de l'hiver précédent, mais les thermostats de ses radiateurs étaient réglés au maximum. La température ambiante et l'humidité relative de l'appartement de contrôle et de l'appartement doté de vitrage à GSF ont généralement coïncidé avec la zone de température fraîche de la norme 55 de l'ASHRAE. Les conditions de l'appartement au vitrage à GSE ont été réparties dans les zones de fraîcheur et de chaleur, ce qui, là encore, traduisait la préférence du résident pour des températures intérieures plus élevées.

Pendant la période du printemps, les résidents de l'appartement de contrôle et de l'appartement au vitrage à GSF ont été confortables jusqu'à l'arrivée du temps chaud et humide en juin. Le résident de l'appartement au vitrage à GSE a quant à lui déclaré que les conditions avaient changé pour devenir confortables. Les thermostats étaient réglés au minimum dans l'appartement de contrôle, au maximum dans l'appartement au vitrage à GSE et ont été progressivement réduits du maximum au minimum dans l'appartement au vitrage à GSF. Dans tous les appartements, les portes ou fenêtres étaient souvent ouvertes par temps chaud. Le système de chauffage du bâtiment a été mis hors fonction environ au milieu de cette période. La température ambiante intérieure et l'humidité relative ont été réparties dans les deux zones de confort de la norme 55 de l'ASHRAE, ce qui traduisait le changement du temps froid de l'hiver au temps chaud de l'été au cours de cette période.

Pendant la période d'été, les résidents de l'appartement de contrôle et de l'appartement au vitrage à GSF ont fait état de conditions intérieures inconfortables (température ambiante intérieure trop élevée). Les fenêtres et les portes étaient ouvertes et des ventilateurs servaient à rafraîchir les pièces. Sans surprise, le résident de l'appartement au vitrage

à GSE a déclaré que les conditions étaient généralement confortables. Tous les résidents ont précisé qu'il n'y avait pas vraiment de changement par rapport à l'été antérieur, celui qui a précédé le début de l'étude. La température ambiante intérieure et l'humidité relative ont souvent excédé la zone de confort de chaleur de la norme 55 de l'ASHRAE. ce qui rend compte du grand inconfort relevé par les résidents de l'appartement de contrôle et de l'appartement au vitrage à GSE.

Rayonnement solaire

Comment le revêtement à faible émissivité à GSE et à GSF contribue-t-il au confort ou à l'inconfort des résidents? On a mesuré le rayonnement solaire extérieur et intérieur par temps clair et ensoleillé, à l'automne, en hiver, au printemps et à l'été et on l'a comparé aux analyses de la température ambiante intérieure et de l'humidité relative à l'intérieur des appartements. Les figures 7, 8 et 9 illustrent le rayonnement solaire extérieur (traits supérieurs) et deux mesures du rayonnement solaire reçu à l'intérieur à travers le vitrage dans les trois appartements : le rayonnement horaire maximum (traits pleins correspondants) et le rayonnement solaire quotidien total (zones sous les traits pleins). Le rayonnement solaire horaire maximum change peu de l'hiver au printemps, mais diminue d'environ la moitié du printemps à l'été. Toutefois, le rayonnement solaire quotidien total mesuré augmente de l'hiver au printemps avant de diminuer d'environ la moitié en été par rapport à ce qu'il était en hiver.

Les écarts mesurés du rayonnement solaire reçu dans les appartements visés par l'étude montrent une certaine concordance avec les résultats sur la température ambiante intérieure et l'humidité relative et les rapports des résidents sur le confort et l'inconfort. À l'automne et au printemps, lorsque les résidents de l'appartement de contrôle et de celui au vitrage avec revêtement à GSE ont fait état d'inconfort en raison de la température trop élevée et que le résident de l'appartement au vitrage avec revêtement à GSF a rapporté des conditions confortables, le rayonnement solaire était plus élevé dans les deux premiers appartements que dans le dernier. À la fin de l'automne, à l'hiver et au printemps, la demande en chauffage a été plus élevée dans les appartements où les deux types de revêtement à faible

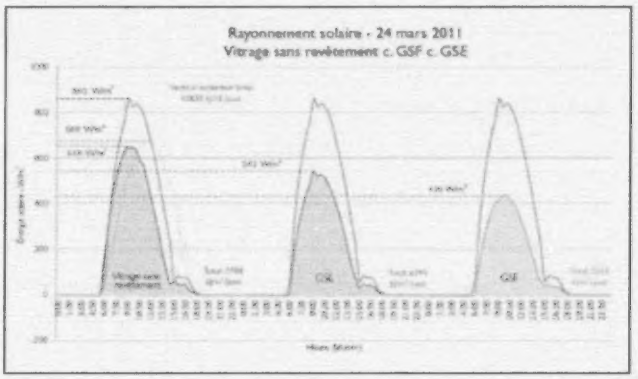

Figure 8 Rayonnement solaire extérieur (traits forts supérieurs) et rayonnement solaire reçu à l'intérieur des trois appartements, le 24 mars 2011.

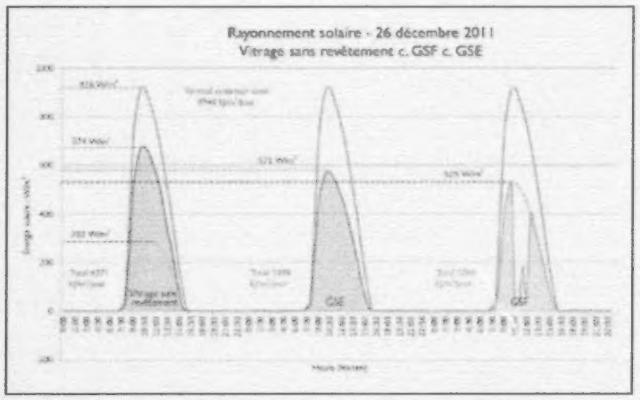

Figure 7 Rayonnement solaire extérieur (traits forts supérieurs) et rayonnement solaire reçu à l'intérieur des trois appartements, le 26 décembre 2011.

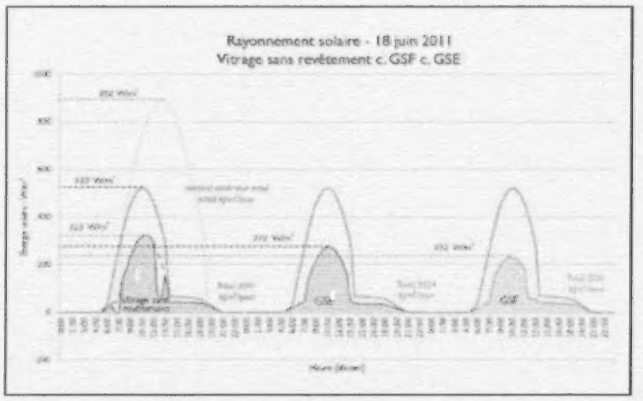

Figure 9 Rayonnement solaire extérieur (traits forts supérieurs) et rayonnement solaire reçu à l'intérieur des trois appartements, le 18 juin 2011.

émissivité ont été installés, même si le rayonnement solaire était élevé, sans grande variation. On peut en conclure qu'un rayonnement solaire trop élevé entraîne de l'inconfort, mais qu'un certain apport d'énergie solaire contribue à réduire la demande en chauffage. En été, tous les résidents ont fait état d'inconfort lorsque le rayonnement solaire est beaucoup plus faible. On peut donc penser qu'à certaines périodes de l'année, le gain solaire contribue beaucoup moins au confort ou à l'inconfort des résidents.

Les variations saisonnières de l'apport de rayonnement solaire dans les appartements visés par l'étude peuvent être attribuées aux différences dans les caractéristiques de transmission, de réflexion et d'absorption du rayonnement solaire du vitrage des fenêtres et des revêtements à faible émissivité à GSE et à GSF. On appelle coefficient d'apport par rayonnement solaire (CARS) l'effet combiné de ces caractéristiques. Le CARS varie de 1, lorsque toute l'énergie solaire traverse la fenêtre (c.-à-d. lorsque les rayons solaires sont perpendiculaires à la surface vitrée, à un angle d'incidence[1] de 0°) à 0, lorsqu'aucune énergie solaire directe n'est transmise (c.-à-d. lorsque les rayons solaires sont parallèles à la surface vitrée, à un angle d'incidence de 90°). La relation entre l'angle d'incidence et le CARS n'est pas linéaire. Elle décroît légèrement à un angle d'incidence variant entre 0 et 50°, et elle décroît rapidement à zéro à un angle d'incidence de 90° (figure 10).

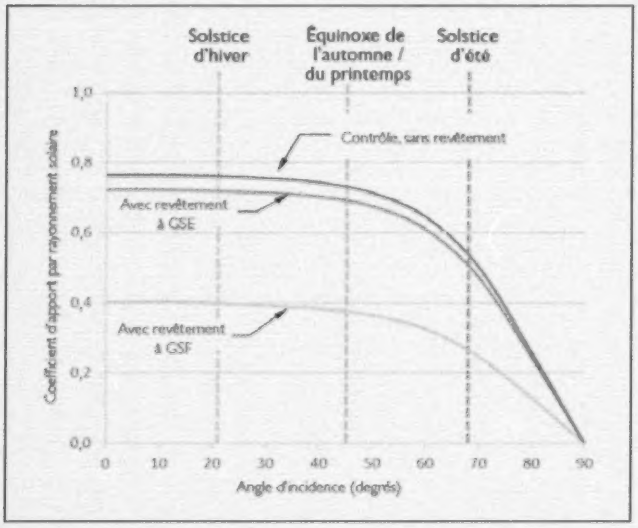

Figure 10 Coefficient d'apport par rayonnement solaire du vitrage dans les trois appartements.

L'angle d'incidence et le CARS varient durant la journée au fur et à mesure que l'altitude (angle vertical au-dessus de l'horizon) et l'azimut (angle horizontal mesuré à partir du sud) du soleil varient dans le ciel entre le lever et le coucher du soleil. Au lever du soleil, pour une fenêtre orientée vers le sud, la combinaison de la faible altitude et de l'azimut élevé a pour effet de créer un grand angle d'incidence, donc un faible CARS et un faible gain solaire. Au midi solaire, l'altitude est plus élevée, mais l'azimut l'est moins de sorte que l'angle d'incidence est moins grand, le CARS est plus élevé et l'apport par rayonnement solaire est plus élevé. C'est ce qui donne la partie montante des différentes courbes en forme de cloche du rayonnement horaire maximum des figures 7, 8 et 9.

Dans une ville nordique comme Ottawa, l'altitude maximale du soleil augmente entre l'hiver et l'été, comme l'illustrent les lignes pointillées de la figure 10 qui représentent l'angle d'incidence maximum au midi solaire en hiver, au printemps, en été et en automne. De plus, entre l'hiver et l'été, le soleil se lève plus tôt et se couche plus tard, ce qui augmente la durée de l'exposition. De l'hiver au printemps, la plus longue durée d'exposition compense la baisse du CARS, de sorte que le rayonnement solaire quotidien total augmente légèrement. Toutefois, du printemps à l'été, l'augmentation de la durée de l'exposition ne suffit pas à compenser la baisse du CARS, de sorte que le rayonnement solaire quotidien total diminue d'environ la moitié en été, comme l'illustrent les figures 7, 8 et 9.

La forme et l'orientation du bâtiment ont également des incidences sur l'apport par rayonnement solaire. Le bâtiment visé par l'étude est à environ 31° à l'est du sud (figure 11). En conséquence, pendant toute l'année, le rayonnement solaire maximum augmente rapidement en matinée pour atteindre son maximum avant midi. De plus, en été le soleil se lève légèrement derrière le plan du mur extérieur des appartements étudiés et au printemps, en été et à l'automne, il se lève bien derrière lui, de sorte que tôt le matin et tard en après-midi et en soirée, il y a des périodes de rayonnement solaire faible et indirect. Ces périodes de rayonnement indirect augmentent la charge thermique totale dans l'appartement, mais sont peu touchées par les revêtements à faible émissivité à GSE ou à GSF.

[1] Angle entre les rayons du soleil diffusés sur une surface et la ligne perpendiculaire à cette surface, au point d'incidence.

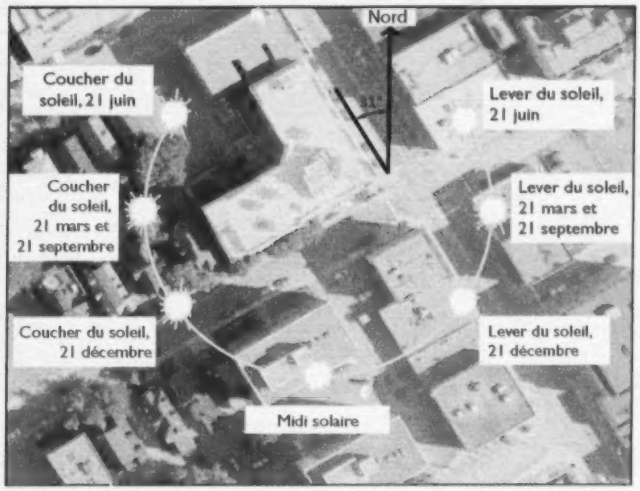

Figure 11 Photo aérienne de l'édifice étudié (en jaune) avec les positions du lever et du coucher du soleil aux solstices et aux équinoxes.

CONCLUSIONS ET INCIDENCES

La diminution du rayonnement solaire qui passe à travers les vitrages à revêtements à faible émissivité à GSE ou GSF correspond à l'utilisation accrue du chauffage observée et rapportée par les résidents (les thermostats étaient réglés à une température plus élevée et pour plus longtemps), ce qui indique que le rayonnement solaire peut contribuer au chauffage des pièces. Toutefois, les niveaux élevés de rayonnement solaire entraînent de l'inconfort comme l'ont expérimenté les résidents de l'appartement de contrôle et de l'appartement avec revêtement à GSE à l'automne et au printemps. Les facteurs qui contribuent à la réduction du CARS comprennent notamment les caractéristiques de transmission, de réflexion et d'absorption du verre, les revêtements à faible émissivité à GSE et à GSF appliqués au vitrage et la durée de l'exposition au soleil modifiée par la forme et l'orientation du bâtiment.

Le vitrage avec revêtement à faible émissivité à GSF peut améliorer le confort thermique des résidents d'appartements à forte exposition au rayonnement solaire, au printemps et à l'automne. Toutefois, il est conseillé d'envisager des dispositifs de réduction de la perte de chaleur, comme le triple vitrage, la lame d'argon et les intercalaires isolants (à bordures chaudes) dans des vitrages isolants pour atténuer la hausse de la demande en chauffage. Dans cette étude, ces éléments auraient amélioré la performance thermique du vitrage et auraient pu atténuer l'inconfort du résident de l'appartement au vitrage à GSE. Dans les immeubles où il faut remplacer toutes les portes et fenêtres, le choix de cadres offrant une meilleure efficacité thermique et la réduction du nombre de cadres offrant une efficacité thermique moindre contribueraient à réduire encore davantage les pertes de chaleur. Lors de la conception de nouveaux immeubles, la surface de vitrage pourrait être réduite, ce qui contribuerait également à réduire le gain thermique à l'automne et au printemps et par conséquent, l'inconfort thermique relié au rayonnement solaire.

Le rayonnement solaire reçu dans les appartements est moins élevé en été, généralement moins que la moitié de ce qu'il est en hiver. Les résidents ont tout de même fait état d'inconfort en été, surtout ceux de l'appartement de contrôle et de l'appartement au vitrage avec revêtement à faible émissivité à GSF. Le rayonnement solaire direct contribue à l'inconfort, mais dans le contexte des collectifs d'habitation, le vitrage à revêtement à faible émissivité à GSF ne semble pas améliorer le confort thermique en été. D'autres mesures sont peut-être plus efficaces pour réduire le CARS, comme le verre dynamique[2] dans le panneau extérieur ou les dispositifs d'ombrage extérieurs. L'efficacité de ces méthodes a fait l'objet d'études et de rapports produits par d'autres chercheurs, mais ils visaient généralement des maisons plutôt que des collectifs d'habitation.

[2] Verre qui peut être clair ou plus foncé selon l'intensité de la lumière et qui peut être contrôlé automatiquement ou manuellement.

Directeur de projet à la SCHL : Woytek Kujawski

Consultants pour le projet de recherche : George Torok, GRG Consultants

Cette étude a été financée (ou financée en partie) par la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) dans le cadre du Programme de subventions de recherche (PSR), mais les opinions exprimées dans l'étude sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement les opinions de la SCHL. La contribution financière de la SCHL à cette étude ne constitue nullement une approbation de son contenu.

Pour consulter d'autres feuillets ***Le Point en recherche*** et pour prendre connaissance d'un large éventail de produits d'information, visitez notre site Web au

www.schl.ca

ou communiquez avec la

Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

Téléphone : 1-800-668-2642
Télécopieur : 1-800-245-9274

67830

©2013, Société canadienne d'hypothèques et de logement
Imprimé au Canada
Réalisation : SCHL 11-04-13

Bien que ce produit d'information se fonde sur les connaissances actuelles des experts en habitation, il n'a pour but que d'offrir des renseignements d'ordre général. Les lecteurs assument la responsabilité des mesures ou décisions prises sur la foi des renseignements contenus dans le présent ouvrage. Il revient aux lecteurs de consulter les ressources documentaires pertinentes et les spécialistes du domaine concerné afin de déterminer si, dans leur cas, les renseignements, les matériaux et les techniques sont sécuritaires et conviennent à leurs besoins. La Société canadienne d'hypothèques et de logement se dégage de toute responsabilité relativement aux conséquences résultant de l'utilisation des renseignements, des matériaux et des techniques contenus dans le présent ouvrage.